

レーザー流速計を用いた乱流計測

東北大学大学院 学生員 武藤 弘

東北大学工学部 正 員 岩崎 敏夫

東北大学工学部 学生員 坂倉 盛行

1. はじめに

レーザー・ドップラー流速計(LDA)は、非接触測定が可能であること、光の応答特性により高周波の速度変動を捕捉できること等の長所を有している。しかし、ドップラー信号にビーム自身のゆらぎが付随し、これを分離することが難しいこと、後方散乱型では、散乱光の強度が小さく、SN比の低下が避けられない等の難点が存在する。今回、散乱粒子としてアルミナを用い、比較的良好な信号を得たので報告する。

2. ドップラー信号とその処理過程

本研究に用いたLDAのトラッカは、Fig.1に示す原理に従って動作する。まずPMからの入力周波数(ドップラー周波数と正逆両方向測定のためにあらかじめビームに加えられていた周波数変調の和)はMixerにおいて、トラッカ内の比較的狭いバンドパスフィルターの中央周波数に自動的に中心がくるように、信号 f_{vco} とミックスされる。IF/Aはノイズ除去のための状態域バンドパスフィルターである。次にリミッタを通ると、信号に付随した振中変動が除去される。この信号は次に、周波数鉴别回路に供給され中心周波数からのずれに比例した周波数成分が直流電圧に線型変換され、さらに、増幅器で増幅された後、積分回路で適当な時定数をもたされてV.C.O.に供給される。この過程を繰り返し f_{vco} と f_d の差は一定となり、 f_d の変化に f_{vco} が追従する結果となる。この状態がトラッキング状態で、これ以外の状態がドロップアウトである。Photo1, 2には、トラッキングが行なわれている状態でのドップラー信号を示す。

3. 散乱粒子

本研究に用いた後方散乱型トラッカタイプのLDAの場合においては、上述の処理回路が良好に作動するためには連続的なドップラー信号を与える散乱粒子を必要とする。粒径は、一般には、フリンジ間隔の半分以下がよいとされているが、本実験では、測定可能なSN比を得るために、フリンジ幅の2倍程度を必要とした。濃度については、 1 cm^3 あたり10個以上でトラッキングが継続された。

4. 実験方法及び結果

実験は、 $4.7 \times 5 \times 0.5\text{ m}$ の実験水槽と $1 \times 5 \times 0.5\text{ m}$ の貯水槽及び $0.8 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$ の高水槽から構成され

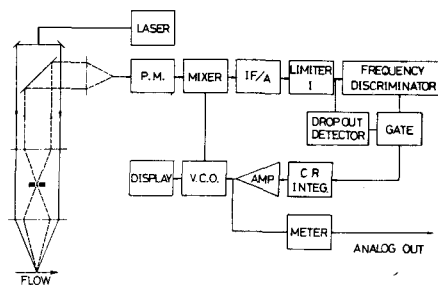
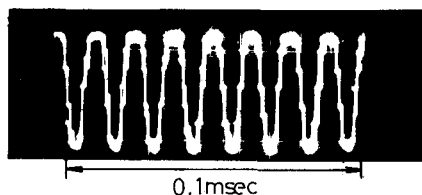
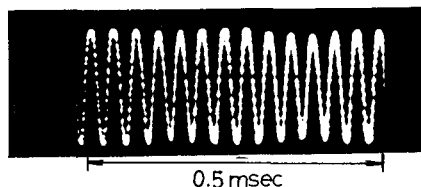


Fig.1 Block Diagram of the Tracker



$$\begin{aligned} f_d &= f_T - f_{10} + f_0 \\ &= 0.072 - 40.06 + 40.00 \\ &= 0.012 \text{ (MHz)} \\ V &= 7.929 f_d \\ &= 9.52 \text{ (cm/sec)} \end{aligned}$$

Photo.1 Doppler Signal



$$\begin{aligned} f &= 0.028 - 40.02 + 40.00 \\ &= 0.008 \text{ (MHz)} \end{aligned}$$

$$V = 6.34 \text{ (cm/sec)}$$

Photo.2 Doppler Signal

た循環式の平面水槽を用い、5×5cmの放出口より生じる表層自由噴流を測定対象とした。測定は、LDAとHot-Film両者で行ない、結果を比較した。アルミナ粒子は高水槽内に懸濁させた。サンプリングタイムは0.01 sec、データ総数は2000個である。また座標系は放出口中心を原点として流下方向にX軸、水深方向にY軸、両者に垂直にZ軸である。以下はX-Y面よでの計測結果である。

Fig.2には $X = 10\text{ cm}$ での正規化された自己相関を示す。いずれも周辺部に行くに従って曲線はなだらかとなり渦径の増大を示す。LDAでは、特に相関の緩和が急激に起こっていることがわかる。Fig.3は、軸上平均流速で無次元化した乱れ強さを、流速の半値幅 b で無次元化されたY軸に対してプロットしたものである。Hot-Filmによる測定結果では $\eta = 1.0$ 付近で最大となり、流速勾配が最大となる位置にはほぼ対応している。LDAではピークがはっきりせず、一般に乱れ強さが小さい。本システムでは、2に述べたように、ノイズ除去のために、狭帯域のバンドパスフィルターを用いているが、このバンド幅の設定が直接測定精度に影響を与える。既ら、乱流状態の流れを測定する場合には、最大のバンド幅が必要であるにもかかわらず現在、信号のSN比が不十分で、低レベルの設定を余儀なくされている。これはトラックが、急速に変動する信号周波数を捕捉できない可能性を示すものであり、乱れ強さがHot-Filmより小さくてているのはこのためではないかと考えられる。

Fig.4には、自己相関を $R(\tau) = 0$ になる直前まで積分した値に、局所平均流速を乗じて求めた平均渦径 L_x の分布を示す。Hot-Filmでは、 η が0.8付近で最大値となり、周辺部で減少する傾向を見せている。LDAでは、特徴は明確でない。Fig.5は、Skewness Factor $[= \overline{u'^3} / (\overline{u'^2})^{3/2}]$ の分布である。LDAでは、ほとんど0付近に分布しており、乱れ強さがガウス分布であることを示している。

5. おわりに

現在、本システムの動特性を100%利用しているとはいえない状態である。原因は、後方散乱を用いているために散乱光が絶対的に弱いことに尽きるといえる。今後、受光部と測定部の距離を小さくするなどにより信号のSN比を高くし、より安定なトラッキングが行なわれるよう改善を図りたい。

<参考文献>

岩崎、佐藤、大嶋：レーザー流速計のトラッキングと信号処理について；昭和54年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要 pp. 77～78

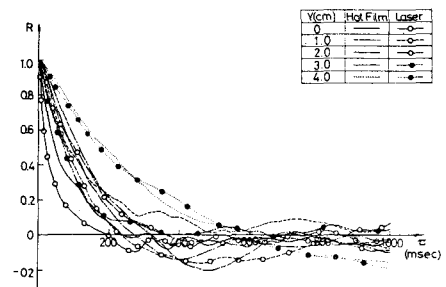


Fig.2 自己相関 (X=10cm)

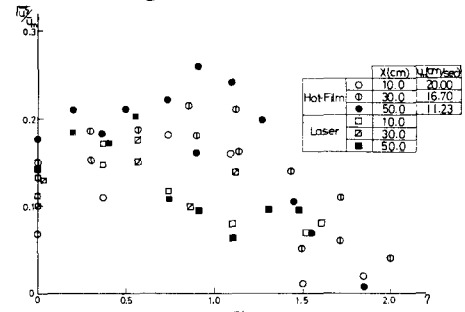


Fig.3 乱れ強さ (X-Y 面)

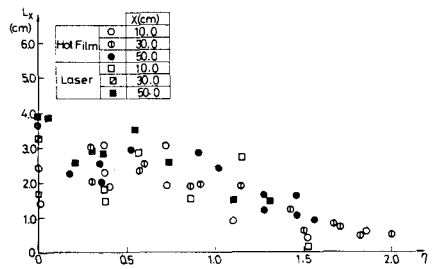


Fig.4 平均渦径

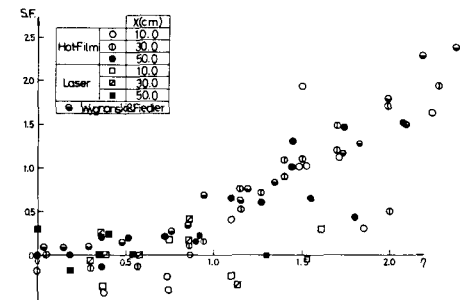


Fig.5 Skewness Factor (u')